

## EKOLOJİ MƏLUMATLARIN ANALİZİ ÜÇÜN STATİSTİK METODLARDAN İSTİFADƏ TƏCRÜBƏSİ

N.K.İSMAYILOV

Azərbaycan Dövlət Aqrar Universiteti

*Ekoloji parametrlərin məkanca paylanması ilə əlaqədar olan bir sıra məsələlər mövcuddur. İşdə ekoloji məlumatların analizi üçün statistik metodların tətbiqi nümunəsi keyfiyyətində iki oxşar məsələyə baxılır. Birinci məsələdə aerofotoçəkiliş məlumatları üzrə bitkinin azotla təminatının kəmiyyətə qiymətləndirilməsinə baxılır. Bəcərmə dövründə, məhsuldarlıq və yüksək keyfiyyətli məhsul üçün gübrələrdən sərfəli istifadənin səmərəliliyinin təminatında bitkilərin qida maddələrinə tələbatının dəqiq proqnozu zəruridir. Bu məsələnin həlli metodu bitkilərin rəqəmsal təsvirləri üzrə optik xarakteristikalarının analizinə əsaslanmışdır. Bitkilərin azotla təminatının kəmiyyətə qiymətləndirilməsi üçün kalibrəlmə əyrilərinin avtomatik qurulmasına cavab verən, baxılan metodun təkmilləşdirilməsi üçün model işlənmişdir. İkinci məsələdə tarlanın ayrılmış zonalarındakı ekoloji göstəricilərin səviyyəsinin qiymətləndirilməsinə baxılır. Burada başlanğıc məlumatlar, kontakt üsulu ilə ölçülmüş və həmçinin baxılan obyektin aerofotoçəkilişlərindən əldə edilən ekoloji yaxud aqrokimyəvi parametrlər hesab edilir. Məqalədə məsələnin həllinə kreqinq və binar reqressiyası metodlarından birgə istifadə etməklə yanaşma təklif edilir. Birinci mərhələdə varioqram analizi aparılır, bundan sonra isə ordinar kreqinq metodunun köməyi ilə ekoloji parametrlərin qiymətləri dəsti qurulur. Bundan sonra baxılan zona üçün parametrlər astana qiymətləri verilir və əgər parametrlərin qiyməti astana qiymətini aşarsa 1 qiymətini və əks halda isə 0 bərabər olan saxta dəyişən daxil edilir. Beləliklə, burada amilləri kreqinq metodu ilə proqnozlaşdırılan qiymətləri dəstinə daxil olan məntiqi reqressiya üçün əsas alınmış olur. Bundan başqa, məqalədə baxılan metodların reallaşdırılması nümunələri təqdim edilmişdir.*

**Açar sözlər:** aerofotoçəkiliş, işığın xarakteristikası, kalibrəlmə əyrisinin qurulması, ekoloji məlumatlar, ordinar kreqinq, binar reqressiyası.

İndiki zamanda ekoloji məlumatların statistik analizinin müxtəlif aspektləri və həmçinin aşağıdakı ekoloji məsələlərin həllində rəqəmsal təsvirlərin analizi metodları vacib əhəmiyyətə malikdir: fəvqəladə vəziyyətlərin aşkar edilməsi; bitkilərin vəziyyətinin monitorinqi; məhsuldarlığın proqnozu; mineral gübrələrin və bitki mühafizə vasitələrinin differensial verilməsi; meliorativ sistemlərin vəziyyətinin monitorinqi; əkinlərin strukturu və b[1, 2, 3, 4, 5].

Kifayət qədər tez – tez ekoloji məlumatların məkanca paylanması proqnozu ilə əlaqədar məsələlər ortaya çıxır. Məsələn, bitkilərin mineral gübrələrlə (NPK), xüsusən də azotla (N) təminatının qiymətləndirilməsindən ibarət olan iki oxşar məsələyə baxaq.

Bitkilərin vegetasiya dövründə (becərilməsində) qida elementlərinə tələbinin proqnozlaşdırılmasında, məhsuldarlığa və məhsulun keyfiyyətinin yüksək olmasına sərfəli olan gübrələrdən istifadənin iqtisadi tərəfi daha əhəmiyyətlidir, belə ki, azot gübrələrinin əldə edilməsi, nəqli və səpini indiki zamanda bitkiçilik məhsulları istehsalının maya dəyərinin 30...50% təşkil edir. Azot kənd təsərrüfatı bitkilərinin becərilməsində və xüsusilə suvarma əkinçiliyində gübrə keyfiyyətində daha çox tətbiq edilir[6].

Kalibrəlmə əyrisinin qurulması. Birinci məsələdə hər bir tarla sahəsində aerofotoçəkiliş məlumatları üzrə bitkilərdə azotun miqdarının kəmiyyətə qiymətləndirilməsinin zəruri olduğu qeyd olunur. Bu məsələnin həlli aerofoto çəkilişləri üzrə bitkilərin rəng xarakteristikasının analizinə əsaslanır. Optik metodların köməyi ilə bitkilərin gübrələrlə təminatının kəmiyyətə qiymətləndirilməsi üçün informasiyanın avtomatik emalına, bitkilərin yemləmə dozalarına və onların verilməsinin zəruriliyi haqqında qərarın qəbulunun yüngülləşməsinə imkan verən xüsusi program təminatının işlənməsi gərəkdir.

Ekoloji məlumatların analizi üçün kreqinqin və binar reqressiyanın tətbiqi. Birinci məsələdə olduğu kimi heç də həmişə bitkilərin qida elementlərinə tələbinin dəqiq qiymətləndirilməsi tələb edilmir, belə ki, bir sıra məsələlərdə ayrılmış müəyyən tarla zonasında azotun miqdarının səviyyəsinin qiymətləndirilməsi yetərli hesab edilir. İkinci məsələdə başlanğıc məlumatlar, kontakt üsulu ilə ölçüləri və həmçinin tədqiq edilən tarlanın aerofoto çəkilişləri əsasında  $Z(x_i)$  ekoloji parametrləri dəsti hesab edilir. Hər bir tarla zonası üzrə bitkilərin azotla (NPK) təminatı səviyyəsinin qiymətləndirilməsi zəruridir.

**Material və metodlar.** Tədqiqat obyektı Samux rayonu İnstitut qəsəbəsi ərazisində yerləşən (Az.ETPI-nin təcrübə təsərrüfatları) kənd təsərrüfatı tarlaları və Goranboy DAIM-in fermer təsərrüfatlarının dənli və texniki bitkiləri altındakı nümunəvi tarlaları hesab edilir (Gəncə Qazax iqtisadi bölgəsi, Samux rayonu, İnstitut qəsəbəsi üzrə təsərrüfat

mərkəzinin kordinatı  $46^{\circ} 50'$  ş.e.,  $39^{\circ}48'$ ş.u. və Goranboy rayonu Xanqərvənd kəndi üzrə  $46^{\circ}55'$  ş.e.,  $39^{\circ}36'$  ş.u. yerləşir).

Hal hazırda tarlaların aerofoto çəkilişi iki ədəd rəqəmsal kamera bərkidilmiş (görünən və infraqırmızı diapazonlarda) Geoskan – 401 (kvadrokopter) helikopter tipli avtomatlaşdırılmış pilotsuz uçuş aparatı (PUA) köməyi ilə həyata keçirilir. Kvadrokopter tarlaların təsvirinin çevik şəkildə yaxşı əldə edilməsinə imkan verir.

**Məsələ 1.** Bitkilərin azotla (NPK) təminatının qiymətləndirilməsi məsələnin həlli, aerofotoçəkilişlər üzrə bitkilərin rəng xarakteristikasının analizinə əsaslanmışdır. Fotosintez prosesində bitkilər günəş işığının təsiri altında üzvi maddələr əmələ gətirir. Bu prosesin bilavasitə iştirakçısı xlorofil olub, yarpaq səthlərinin və bitki kollarının yaşıl rəngini müəyyən edir. Baxmayaraq ki, fotosintez prosesində bitkilərdə bir çox mineral qida elementləri iştirak edir ancaq, bir sıra tədqiqatlarda ən böyük korrelyasiya əlaqəsinin onların azotla təminatı və xlorofilin miqdarı arasında olduğu müşahidə edilmişdir. Beləliklə, qidalanmada azot defisiti bitki yarpaqlarının və bitki örtüyünün rənginin dəyişməsi ilə müşahidə edilir [7].

Rəng parametrlərinin izahı üçün CIELAB fəza rəng modeli tətbiq edilir. Lab sistemində L rəng parametri müsbətdir və işıq lotunu göstərir;  $a > 0$  qırmızı təşkeledici parametri,  $a < 0$  – yaşılı,  $b > 0$  – sarı və  $b < 0$  isə göy rəng təşkeledicisini göstərir.

Alınmış aerofotoçəkiliş materialları kənd təsərrüfatı əkinlərinin (tarlalarının) raster görüntülərinə və həmçinin şəkil çəkmə və dayaq nöqtələrinin kordinatlarına malik olur. Beləliklə, alınmış təsvirlər (görüntülər) qlobal mövqeləşdirmə sisteminə bağlı olur. Aerofotoçəkiliş nəticələri üzrə “Agisoft Photoscan” proqramının köməyi ilə ortofotoplan qurulur. Kənd təsərrüfatı tarlalarının görüntülərində test meydançaları – müəyyən doza ilə gübrə səpilmiş (hər hektara 0,30,50,70,90,110 kq təsiredici element hesabı ilə), kiçik tarla hissəsi yer almış olur.

Nəticədə bitkilərin rəng xarakteristikasının hər bir test meydançasındakı orta qiyməti etalon qəbul edilir ki, onun əsasında tarlanın digər qalan hissələrində də azotun miqdarını qiymətləndirmək olar (öyrənmə modeli). Bitkilərdə azotun miqdarının kəmiyyətə qiymətləndirilməsindən sonra aerofotoçəkilişdə (görüntüdə) yemləmə gübrəsi tələb edən əkin zonaları (səpinlər) seçilib ayrılır və xüsusi proqramla azot gübrələrinin (NPK) differensial verilməsi üçün zəruri olan texnoloji xəritələrdə toplanır.

Bitkilərin qida elementləri ilə (azot (N) yaxud NPK ilə) təminatının qiymətləndirilməsini iki yolla: rəng xarakteristikasını birbaşa etalonla müqayisə etməklə yaxud etalonların xarakteristikası əsasında kalibrləmə əyrisini qurmaqla aparmaq olar. Daha mükəmməl nəticələrin alınması üçün test meydançalarında bitkilərin rəng xarakteristikasının

azotun (NPK) dozasında asılılığını təsvir edən kalibrləmə əyrisinin qurulması məqsədəuyğundur. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, hər bir görüntü üçün özünün kalibrləmə əyrisinin avtomatlaşdırılmış qurulmasına imkan verən riyazi modulun yaradılması da məqsədə uyğundur.

**Məsələ 2.** Ekoloji məlumatların məkanca (fəzada) paylanması proqnozu məsələsinin həllinin əsasını iki statistik analiz metodu: ordinar kriqinq və məntiqi reqressiya təşkil edir.

Ordinar kriqinq müşahidələr dəsti əsasında ekoloji parametrlərin paylanmasını proqnozlaşdırmağa imkan verir [3]:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i), \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (1)$$

Burada  $Z(x_i)$  –  $x_i$  – yerləşmə yerindəki müşahidə qiymətləridir;  $\lambda_i$  – onlar üçün naməlum (məchul) çəkidir;  $\hat{Z}(x_0) - x_0$  yerləşmə yerindəki proqnozlaşdırılan qiymətlərdir;  $n$  – müşahidələrin miqdarıdır.  $\lambda_i$  çəkisi müəyyənləşdirilmiş nöqtə üçün müəyyən edilmiş varioqram modelindən, proqnoz yerində olan məsafədən və proqnoz yeri yaxınlığındakı qiymətləri arasındakı fəza nisbətindən asılı olur.

Kriqinq metodu ilə proqnozun həyata keçirilməsi üçün varioqram analizinin (məlumatların korrelyasiya strukturunun analizə və modelləşdirilməsi) aparılması zəruridir. Müşahidələr arasındakı fəza nisbətləri poluvarioqramla xarakterizə edilir (sadəcə varioqram adlandırılır):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var} [Z(x) - Z(x+h)] = \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2$$

Məlumatların kəmiyyəti nə qədər yaxın olarsa (onlar arasındakı fərq kiçik olarsa), varioqramın kəmiyyəti bir o qədər böyük olar.

$\gamma(h)$  - varioqramı eksperimental varioqram əsasında qiymətləndirilir:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$$

Burada  $N(h)$  –  $h$  vektoru ilə ayrılan eksperimental nöqtələr cütünün sayıdır. Bundan sonra eksperimental varioqram əsasında onun nəzəri modeli qurulur. Varioqram analizi (1) ordinar kriqinq qiymətləndirməsinin (qiymətinin) çəkisini tapmağa imkan verir. Məsələnin həllinin növbəti mərhələsində məntiqi reqressiyaya keçid həyata keçirilir. Bunun üçün baxılan tarla zonası üçün  $d$  astana (poroq) qiymətlər müəyyən edilir və saxta dəyişənlər daxil edilir:

$$y(x) = \begin{cases} Z(x) \geq d, 1 \\ Z(x) < d, 0 \end{cases}$$

Müşahidə nöqtələrində ekoloji parametr məlumdur və deməli bu nöqtələrdəki  $y(x_i)$  kəmiyyətləri də məlumdur. Bundan başqa, həmin nöqtələrdə ekoloji parametrlərin kəmiyyətini kriqinq metodunun köməyi ilə də proqnozlaşdırmaq olar. Beləliklə, astana (poroq) qiymətlərinin aşılma ehtimalı və dəyişənlərin izahı arasındakı asılılığı əks etdirən məntiqi reqressiya üçün əsas alınmış olur [6]:

$$Py(x_i) = 1(\theta_i) = P_i = \frac{1}{1 + \exp(-\theta_i^T \beta)} \quad (2)$$

Burada  $\theta_i - y(x_i)$  saxta dəyişənləri izah edən amillərdir.

Məntiqi reqressiyanın amillərindən biri kimi kri-qinq metodunda söylənən qiymətlər dəstinin daxil edilməsi təklif edilir [8]. Bundan başqa, əgər ekoloji parametrlərin kəmiyyəti rəng qiymətləri ilə korrelyasiya olunarsa onda amillərə görüntülər üzrə rəng parametrləri daxil ola bilər.  $\beta$  vektoru maksimum doğruya bənzər metodla qiymətləndirilə bilər. Qurulmuş məntiqi reqressiya (2) tənliyinin əhəmiyyətliyi doğruya bənzərliklərin nisbəti meyarı üzrə və həmçinin Valda meyarının köməyi ilə aparmaq olar [6].

Nəticədə tarlanın hər bir nöqtəsi üçün  $P(y(x_i) = 1)$  ehtimalını hesablamaq olar və əgər onun 1 yaxın olması halında güman etmək olar ki, bu nöqtədə ekoloji parametrlərin qiyməti d astana səviyyəsini aşır, əgər ehtimal sıfıra yaxın olarsa, parametrlərin qiymətinin astana səviyyəsindən aşağı olduğunu güman etməyə əsas olur.

**Nəticələrin müzakirəsi.** Kalibrləmə əyrisinin qurulması. Hər bir tarla hissəsində bitkilərin azota (NPK) tələbatının daha dəqiq təyini üçün kalibrləmə əyrisini avtomatik olaraq qurmağa imkan verən riyazi modulun yaradılması məqsədə uyğundur. Baxılan modulun giriş məlumatları test meydançalarının miqdarı, hər bir test meydançasına gübrə dozalarının (N yaxud NPK) qiyməti hesab edilir. Bununla belə, test meydançalarında yarpaqların rənginin gübrə dozalarından (NPK) asılılığını əks etdirən kalibrləmə əyrisinin qurulması üçün rəng parametrlərinin vahid kəmiyyət şəklində təqdim edilməsi zəruridir. Bununla əlaqədar olaraq, rəng parametrləri vektorunun qabarıq xətti kombinasiyadan istifadə etməklə bir qiymətə çevirmək təklif edilir. Bu qiymət şərti olaraq ümumiləşdirilmiş rəng xarakteristikası  $C_{lab}$  adlandırılmaqla, aşağıdakı formulla hesablanır [4]:

$$C_{lab} = \alpha L^* + \beta_1 a^* + \beta_2 a^* \quad (3)$$

Burada  $\alpha \geq 0, \beta_1 \geq 0$  və  $\beta_2 \geq 0$  – tarlanın hər bir aerofoto görüntüsü üçün empirik olaraq götürülən əmsallardır, belə ki:

$$\alpha + \beta_1 + \beta_2 = 1$$

$\alpha, \beta_1$  və  $\beta_2$  əmsallarının seçilməsində, test meydançalarındakı gübrə dozaları (NPK) və ümumiləşdirilmiş rəng xarakteristikası arasındakı xətti əlaqənin maksimum ifadə edilməsinin təminatı zəruridir. Belə məsələnin klassik həlli metodu xətti reqressiya modelləşdirilməsidir [2]. Modelin qurulmasında güman edilir ki, xətti model ən yaxşı şəkildə, gübrənin (azotun) N miqdarı və ümumiləşdirilmiş rəng xarakteristikası  $C_{lab}$  arasındakı asılılığı xarakterizə edir:

$$N = \beta_0^* + \beta_1^* C_{lab} + \varepsilon$$

Burada  $\beta_0^*$  və  $\beta_1^*$  – modelin parametrləridir,  $\varepsilon$  – uçota (nəzərə) alınmayan amillərin təsirini xarakterizə edən təsadüfi kəmiyyətlərdir (həyəcənlanmalardır). Bu zaman reqressiya tənliyi aşağıdakı şəkli alır:

$$N^* = b_0 + b_1 C_{lab} \quad (4)$$

$b_0$  və  $b_1$  əmsalları ən kiçik kvadratlar metodu ilə hesablanır:

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n N_i C_{lab}^i - \sum_{i=1}^n N_i \sum_{i=1}^n C_{lab}^i}{n \sum_{i=1}^n (C_{lab}^i)^2 - \sum_{i=1}^n C_{lab}^i \sum_{i=1}^n C_{lab}^i} \quad (5)$$

$$b_0 = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n N_i - b_1 \sum_{i=1}^n C_{lab}^i \right) \quad (6)$$

Bundan sonra modelin adekvatlığı yoxlanılır. Uyğun olaraq, cavabların variasiyasının tam kvadratları cəmi və həmçinin onun iki təşkiledicisi: izah reqressiyanın kvadratları cəmi hesablanır. Xətti əlaqənin ifadəsi ölçüsünün qiymətləndirilməsi üçün determinasiya əmsalı istifadə edilir. Nisbi meylətmələrdən hər bir müşahidə üzrə modelin keyfiyyəti haqqında ümumi təsəvvür əldə etmək üçün approksimasiyanın orta xətası təyin edilir. Reqressiya tənliyinin əhəmiyyətliyi qiymətləndirilməsi bütövlükdə Fişer F – meyarı əsasında aparılır və F – statistika qurulur.

Əmsalların optimal dəsti əldə edildikdən sonra tarlanın hər bir elementar sahəsində azotun (NPK) miqdarını təyin etməyə imkan verən kalibrləmə əyrisi qurulur.

Baxılan modulun qiymətləndirilməsi üçün kalibrləmə əyrisinin qurulması algoritmi işlənmiş və onun adekvatlığının yoxlanması aparılmışdır. Sxematik olaraq, əsas funksiyanın qurulması algoritmini aşağıdakı kimi təsəvvür etmək olar:

#### Giriş məlumatları:

*Data:* n – test meydançalarının miqdarı;

$N = (N_1, \dots, N_n)$  – meydançalardakı azotun (NPK) miqdarının qiymətləridir;  
 $L^* = (L_1^*, \dots, L_n^*)$ ;  $a^* = (a_1^*, \dots, a_n^*)$ ,  $b^* = (b_1^*, \dots, b_n^*)$  – onların uyğun rəng parametrləridir.

#### Çıxış məlumatları

*Result:* Empirik götürülmüş  $\alpha, \beta_1, \beta_2$  əmsalları; kalibrləmə əyrisinin tənliyi;  $R^2$  determinasiya əmsalı;  $\bar{\varepsilon}$  – approksimasiyanın orta xətası;  $F$  – statistika.

$max \leftarrow 0$   
 for  $\alpha \in [0; 1]$  do

{  
 for  $\beta_1 \in [\alpha; 1]$  do

{  
 $\beta_2 \leftarrow 1 - \alpha - \beta_1$ ;

$C_{lab} = (C_{lab}^1, \dots, C_{lab}^n)$  qiymətinin (3) formulu üzrə hesablanması;

if  $C_{lab}$  qiyməti monotondursa then

{  
 Xətti reqressiya modelinin qurulması:

(5), (6) formulları üzrə xətti reqressiya tənliyinin əmsallarının hesablanması;

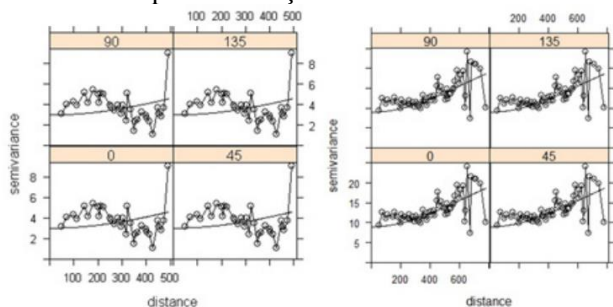
(4) formulu üzrə  $N^* = (N_1^*, \dots, N_n^*)$  azotun miqdarının yeni modelləşdirilmiş qiymətinin hesablanması; Meylətmələrin kvadratları cəminin hesablanması; Appraksimasiyanın orta xətasının hesablanması; Determinasiya  $R^2$  əmsalının hesablanması;

```
if  $R^2 > \text{then}$ 
 $\max \leftarrow R^2;$ 
}
```

F – statistikanın hesablanması.

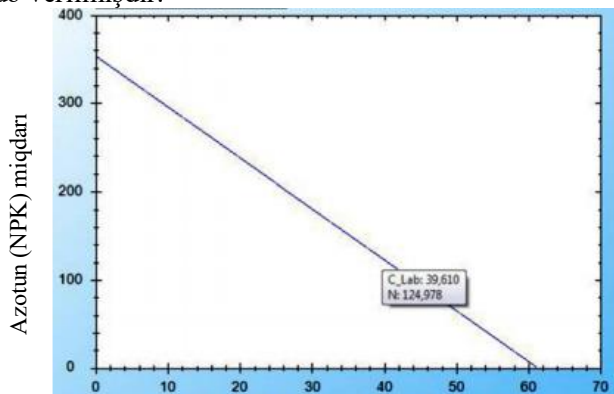
Beləliklə, elə  $\alpha, \beta_1, \beta_2$  əmsalları dəsti tapırıq ki, bu zaman determinasiya əmsalı maksimum olur və uyğun olaraq, N və  $C_{lab}$  parametrlərinin xətti asılılığı daha qabarıq ifadə edilmiş olur.

Modul Visual Studio 2012 Professional işləmə mühitində əlavə ZedGraph kitabxanasından və  $C \neq$  proqramlaşdırma dilindən istifadə etməklə reallaşdırılır. Şək.1-də modulun hesabat nəticələri nümunəsi təqdim edilmişdir.



Şək.1. Kalibrəmə əyrisinin qurulması modulunun hesabat nəticələri nümunəsi

Qurulmuş kalibrəmə əyrisinin nümunəsi şək.2-də verilmişdir.



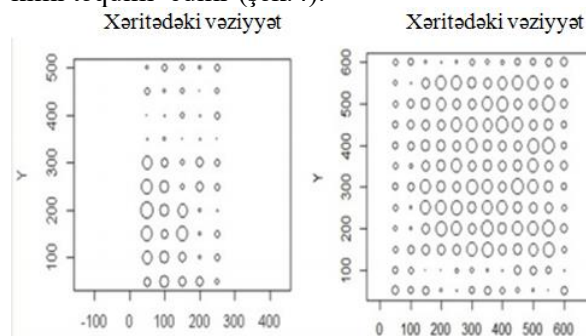
$C_{lab}$  ümumiləşdirilmiş rəng xarakteristikası  
Şək.2. Kalibrəmə əyrisinin qurulması nümunəsi

Ekoloji məlumatların analizi üçün kreqinqin və binar reqressiyanın tətbiqi. R proqramlaşdırma dilindən istifadə etməklə iki modelləşdirilmiş misal üzrə bu metodların tətbiqini göstərək. Tarla sahəsində iki müxtəlif sxem üzrə paylanmış bəzi  $Z_i^1$  və  $Z_i^2$  məsələn, bitkinin yarpaqlarının rənginin

intensivliyinin N – testli göstəricisi ekoloji parametrlərin kəmiyyətinin (uyğun olaraq 50 və 144 qiymətlərində) iki dəstini modelləşdirək. Həcmi 50 və 144 nöqtədən ibarət olan, normal paylanmış, riyazi gözləməsi 0 və orta kvadratik meylətməsi 1 olan iki seçimi modelləşdiririk və bu zaman baxılan seçimə  $\varepsilon^1$  və  $\varepsilon^2$  təsadüfi kəmiyyətləri (“ağ səs – küy”) uyğun gəlir və onlara modelləşdirilmiş məlumatlar dəsti əlavə edirik:  $\hat{Z}_i^1 = Z_i^1 + \varepsilon_i^1$ ;  $\hat{Z}_i^2 = Z_i^2 + \varepsilon_i^2$ . Astananı  $d=350$  müəyyən edirik.

Aşağıdakı şəkildə (şək.3) tarla hissəsində modelləşdirilmiş məlumatların paylanması xəritə - sxemi təqdim edilmişdir.

İlkin olaraq məhdudiyyətlərin və geostatistik gümanların (stasionarlıq və multinormallıq) yoxlanması həyata keçirilir. İlkin analizdən sonra varioqram analizi həyata keçirilir və bunun nəticəsində eksperimental varioqram qurulur və varioqramın nəzəri modeli müəyyən edilir. Baxılan misallardakı (nümunələrdə) eksperimental varioqramlar dörd istiqamətdə ( $0,45^\circ$ ,  $90^\circ$  və  $135^\circ$ ) müəyyən edilmiş varioqram modellərində aşağıdakı kimi təqdim edilir (şək.4).



Şək. 3. Tarla hissəsində (sahəsində) modelləşdirilmiş məlumatların paylanması xəritə - sxemi (sxemdəki dairələrin diametri məlumatların kəmiyyətlərinə mütənəsibdir)

Giriş məlumatları			
N	L	a	b
0	160	105	179
30	148	100	177
60	132	100	173
90	123	102	170
120	99	105	161
150	86	107	156
180	77	109	153
210	75	109	152

Çıxış məlumatları		
alfa	Beta 1	Beta 2
0.88	0.00	0.12
Kalibrəmə düz xətti		
$N = 353.50 - 5.77 \cdot C_{Lab}$		
Determinasiya əmsalı		Orta xəta
0.97		7.11 %

Şək. 4. Dörd istiqamət üzrə müəyyən edilmiş varioqram modeli eksperimental varioqramlar



Varioqram analizi nəticələri əsasında *ordinar kriqinq* tətbiq edilir. Modelləşdirilmiş müşahidələr dəstindən növbə ilə qiymətlərdən biri ləğv edilir və bundan sonra o *kriqe* funksiyasının köməyi ilə kriqinq metodu ilə qiymətləndirilir. Beləliklə, müşahidə nöqtələrində *ordinar kriqinq* metodu ilə öncədən söylənən ekoloji parametrlərin qiymətlərinin iki dəstinə alırıq.

Aşkar edilmiş məlumatların köməyi ilə hər bir nümunə (misal) üçün glm funksiyasının köməyi ilə üç *loqit* – *model* qurulur. Modellərin əhəmiyyətliyi qiyətləndirilməsi həqiqətəbənzərliyin nisbəti meyarı üzrə aparılır. Modelin qurulması üçün başlanğıc məlumatlar aşağıdakılardır: əgər  $N$  – testerin göstərişi 350-ə bərabər yaxud böyük olarsa, asılı dəyişən  $T=1$ , əks halda 0 qiymətini alır; izah verici dəyişənlər keyfiyyətində, müşahidə kordinatlarının  $X$  və  $Y$  dəyişənlərinə, həmçinin  $N_{0.g}$  – müşahidə nöqtələrində parametrlərin kriqinq metodu ilə öncədən söylənən kəmiyyətinə baxılır. Aşağıdakı cədvəldə (cədvəl1) baxılan modelləşdirilmiş nümunələrin qurulmuş *loqit* – *modelin* təqdim edilən nəticələrindən bütün modelin statistik əhəmiyyətli olduğu görünür.

Cədvəl 1

**Baxılan nümunələrin loqit – modelin qurulmasının nəticələri**

Hesabat nəticələri	Nümunə 1	Nümunə 2
Loqit – model 1: asılı dəyişən $T$ , izah verici dəyişənlər $X$ və $Y$		
$\chi^2$ – kvadrat əmsalı	37.36926	7.943813
Əhəmiyyətlik səviyyəsi	3.840071 <sub>d-09</sub>	0.009418745
Loqit – model 2: asılı dəyişən $T$ , izah verici dəyişənlər $X, Y$ və $N_{0.g}$		
$\chi^2$ – kvadrat əmsalı	51.0379	117.7156
Əhəmiyyətlik səviyyəsi	2.355682 <sub>d-11</sub>	1.18768 <sub>d-25</sub>
Loqit – model 3: asılı dəyişən $T$ , izah verici dəyişən $N_{0.g}$		
$\chi^2$ – kvadrat əmsalı	30.26213	82.66378
Əhəmiyyətlik səviyyəsi	1.945903 <sub>d-08</sub>	4.92086 <sub>d-250</sub>
Qeyd. Bütün loqit – modellərdə modelləşdirilmiş əmsalların əhəmiyyətlik səviyyəsi $\leq 0.05$ -dir.		

Yekun mərhələdə loqit – model məlumatları müqayisə edilir. Belə ki, hər bir nümunəyə daxil edilən hər üç modeldə ilkin müqayisə *anova* funksiyasının köməyi ilə həyata keçirilir. Nəticədə alırıq ki, 2- ci *loqit* – *model* ixtisar edilmiş nəzərə daha yaxşı işləyir. Bundan başqa, hər bir nümunə

üçün əlavə test bazası yaradılır: növbə ilə müşahidə dəstindən bir nöqtə ləğv edilməklə analiz aparılır və həmin nöqtədə hər üç modeldə ehtimalın qiyməti  $P(T=1)$  öncədən söylənir. Birinci nümunədə ikinci model ixtisar olunmuş modelə görə 50 nöqtədən 37-si üzrə, ikinci nümunədə isə 144 nöqtədən 107-də özünü daha yaxşı göstərir. Cədvəl 2-də birinci nümunə üçün 10 nöqtədəki test bazasındakı seçim təqdim edilmişdir.

Cədvəl 2

**Birinci nümunə üçün loqit – modelin test bazasından seçim**

S.S.	X	Y	Z	T	$N_{0.g}$	Model 1	Model 2	Model 3
1	100	50	352	1	351,1794	0,99025	0,99993	0,96233
2	250	50	348	0	350,2188	0,60916	0,34788	0,82778
3	200	100	347	0	350,2588	0,71082	0,07791	0,84101
4	150	150	354	1	349,9958	0,73760	0,99664	0,67032
5	150	200	353	1	349,6525	0,51356	0,92354	0,49262
6	50	300	353	1	349,5278	0,77216	0,99804	0,42703
7	150	300	348	0	348,954	0,15470	0,04604	0,20274
8	50	400	345	0	349,0604	0,43531	0,00086	0,24526
9	100	450	347	0	348,1283	0,04580	0,00743	0,04201
10	150	500	348	0	347,3104	0,00361	0,00146	0,00755

**Nəticələr.** İki oxşar məsələnin təmsalında ekoloji məlumatların analizi üçün statistik metodların tətbiqinin mümkünlüyü nümayiş etdirilir. Baxılan məsələ ekoloji məlumatların məkanca paylanması proqnozlaşdırılmasından ibarətdir. Bundan başqa, təklif edilən yanaşmaların praktiki olaraq reallaşdırılması nümunələri təqdim edilir. Aparılmış tədqiqat əsasında aşağıdakı nəticələri formalaşdırmaq olar:

- ekoloji məlumatların analizi ilə əlaqədar, statistik metodların tətbiqi məsələsi kifayət qədər aktual olmaqla perspektiv istiqamətdir
- ekoloji məlumatların paylanması proqnozu üzrə təsvir ediləb metodlar - əlverişli, iqtisadi cəhətdən sərfəli (bahalı deyil) və yetərincə dəqiqdir;
- rəngin ümumiləşdirilmiş xarakteristikasının gübrə dozəsindən (NPK) asılılığını əks etdirən kalibrəmə ayrılmasının qurulması metodu, gübrələrin (N yaxud NPK) daha məqsədəuyğun verilməsini daha dəqiq qiymətləndirməyə imkan verir;
- kriqinq və binar reqressiyanın birgə tətbiq edilməsi bir sıra aktual ekoloji problemlərin həll edilməsinə: bitkilərin vəziyyətinin monitorinqinə, məhsuldarlığın proqnozuna, gübrələrin (azot və digərlərinin) differensial səpininə və s. imkan verir. Alınmış nəticələrin praktiki reallaşdırılması əsasında güman etmək olar ki, loqit – modeldən tam istifadə məqsədəuyğundur, ancaq bu yanaşma bir sıra əlavə nümunələrə də baxılmasını tələb edir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Буре В.М. Методология статистического анализа опытных данных. СПб.: С – Петерб. гос.ун-т, 2007. 141с. 2. Буре В.М., Париллина Е.М. Теория вероятностей и математическая статистика.учебное пособие. СПб.: «Лань», 2013. 416с. 3. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геоestatистика: теория и практика.М.: Ин.-т. проблем безопасности развития атомной энергетики РАН; Наука, 2010. 327 с. 4. Митрофанова О.А., Буре В.М., Канаш Е.В. Математический модуль для автоматизации колориметрического метода оценки обеспеченности растений азотом //Вестн. С. - Петерб. ун-та. Сер.10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2016. Вып. 1.с.85-91. 5. Якушев В.П., Буре В.М. Подходы к обнаружению статических зависимостей. СПб.: С.-Петербург.гос. ун-т, 2003. 64с. 6. Якушев В.П., Канаш Е.В., Конев А.А.,

Ковтюх С.Н., Лекомцев П.В., Матвеев Д.А., Петрушин А.Ф., Якушев В.В., Буре В.М., Осин Ю.А., Русаков Д.В. Теоретические и методические основы выделения однородных технологических зон для дифференцированного применения средств химизации по оптическим характеристикам посева: практическое пособие. СПб.: Агрофиз. ин-т, 2010. 60с. 7. Якушев В.П., Буре В.М., Парилкина Е.М. Бинарная регрессия и ее применение в агрофизике. СПб.: Агрофиз. Инт-т., 2015. 36с. 8. Fernandes G.B., Artes R. Spatial dependence in credit risk and its improvement in credit scoring //European I. of Operational Research. 2016. №249

## Опыт использования статистических методов для анализа экологических данных

Н.К.Исмаилов

Существует ряд задач, связанных с прогнозом пространственного распределения экологических параметров. В работе в качестве примеров применения статических методов для анализа экологических данных рассматриваются две схожие задачи. Первая задача заключается в количественной оценке обеспеченности растений азотом по данным аэрофотосъемки. Точный прогноз потребности растений в питательных веществах в период выращивания необходим для эффективного использования удобрений, выгодной урожайности и высокого качества продукции. Метод решения этой задачи основан на анализе оптических характеристик растений по цифровым изображениям. Для усовершенствования данного метода разработан модуль, отвечающий за автоматическое настраивание калибровочных кривых для количественной оценки обеспеченности растений азотом. Вторая задача заключается в оценке уровня экологического показателя в выделенной зоне поля. Предполагается, что исходными данными является набор экологических или агрохимических параметров, измеренных контактным способом, а также аэрофотоснимок рассматриваемого объекта. В статье предложен подход к решению задачи с совместным использованием методов кригинга и бинарной регрессии. На первом этапе проводится вариограммный анализ, после чего строится набор оценок экологического параметра с помощью метода ординарного кригинга. Далее задается пороговая значение параметра для рассматриваемой зоны, выводится фиктивная переменная, которая принимает значение 1, если значение параметра превысило пороговое, и 0 в ином случае. Таким образом, получается основа для логистической регрессии, где в факторы входит набор оценок, спрогнозированных методом кригинга. Кроме того, в статье представлены примеры реализации рассмотренных методов.

**Ключевые слова:** аэрофотосъемка; обобщенная характеристика цвета; построение калибровочных кривых; экологические данные; ординарный кригинг; бинарная регрессия.

## An experience of using statistical methods for the analysis of ecological data

N.K.Ismailov

There is a number of problems associated with the prediction of the spatial distribution of ecological parameters. In this paper, two similar problems are considered as examples of the application of statistical methods for the analysis of ecological data. The first problem is to quantify the nitrogen status of plants relying on aerial photos. Accurate prediction of plant nutritional needs during the growing season is necessary for efficient use of fertilizers, optimal yields and high quality products. A method of solving this problem is based on the analysis of the optical characteristics of plants in digital images. To improve this method, a module responsible for automatic construction of calibration curves for the quantitative assessment of plant nitrogen status was developed. The second problem is to assess the level of ecological indicators in selected field areas. It is assumed that the initial data are a set of ecological or agro – chemical data measured in situ, as well as an aerial photographic image of the object. This paper proposes approaching this problem by using a combination of the kriging and binary regression methods. The first step is variogram analysis, and then a set of ecological parameter estimates is built by the ordinary kriging method. Next, we set a threshold level for the given zone, introduce a dummy variable that takes the value 1 if the parameter value exceeds the threshold, and 0 otherwise. Thus, we get a basis for a logistic regression where factors include a set of estimates predicted by kriging. The article also presents application examples for these methods.

**Key words:** aerial photography; generalized color characteristic; construction of calibration curves; ecological data; ordinary kriging; binary regression.